

نقش جریانات باد بر منشأ غلظت گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن در مقیاس استانی

سید محسن موسوی^۱

سامره فلاحتکار^{۲*}

samereh.falahatkar@modares.ac.ir

منوچهر فرج زاده^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۴

چکیده

زمینه و هدف: امروزه یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که جهان با آن روبه‌رو شده افزایش تغییر آب و هوای جهانی به علت انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. گاز دی‌اکسید کربن به عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای و اولین عامل در تغییر اقلیم شناخته شده است. عوامل مختلفی از جمله توپوگرافی، بارندگی، جریانات هوا و وجود باد از عوامل مهم در پخش، رقیق کردن و جابه‌جایی گازهای گلخانه‌ای موجود در اتمسفر محسوب می‌شوند. **روش بررسی:** در مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های سرعت باد ECMWF و داده‌های دی‌اکسید کربن ماهواره GOSAT به صورت تخصصی به بررسی نقش باد در پی‌بردن به منابع محلی یا منطقه‌ای انتشار گاز دی‌اکسید کربن و هم‌چنین پی‌بردن به منابع احتمالی انتشار این گاز در مقیاس استانی پرداخته شد.

یافته‌ها: بیش‌ترین تجمع گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن در هر دو فصل سرد و گرم در منطقه جنوب و جنوب شرق ایران قرار دارد. البته گستره پراکندگی و غلظت بالاتر این گاز در فصل زمستان بیش‌تر از فصل تابستان است. نتایج نشان داد که به طور عمده در اکثر استان‌های ایران منابع محلی عامل افزایش انتشار غلظت گاز دی‌اکسید کربن موجود در جو در فصل زمستان می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: بالا بودن غلظت گاز دی‌اکسید کربن در فصل زمستان می‌تواند نشان‌دهنده مصرف بیش‌تر سوخت‌های فسیلی برای گرمایش نسبت به فصل تابستان و عدم انجام فرایند فتوسنتز توسط گیاهان در فصل سرد باشد. در صورتی که در فصل تابستان مطابق با موقعیت جغرافیایی استان‌های مورد مطالعه نقش منابع منطقه‌ای در انتشار دی‌اکسید کربن بیش‌تر از منابع محلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسید کربن، توزیع مکانی، تغییر اقلیم، سرعت باد، GOSAT

۱- کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

۲- استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران* (مسئول مکاتبات)

۳- استاد گروه سنجش از دور دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

The Role of Wind Flow on Sources of Carbon Dioxide Concentration in the Provincial Scale

Seyed Mohsen Mousavi¹

Samereh Falahatkar^{1*}

samereh.falahatkar@modares.ac.ir

Manuchehr Farajzadeh²

Accepted: 2017.05.24

Received: 2017.02.12

Abstract:

Background and Purpose: One of the most important problems in the world is the increase of global climate change due to excessive greenhouse gas emissions. Carbon dioxide gas is known as the most important greenhouse gas and the first factor in climate change. Various factors such as topography, rainfall, air currents and the presence of wind are important factors in the diffusion, dilution and displacement of greenhouse gases in the atmosphere.

Method: In the present study, using ECMWF wind speed data and GOSAT satellite carbon dioxide data, the role of wind in detecting local sources or areas of carbon dioxide emissions and such an investigation was made into the possible sources of emissions of this gas on a provincial scale.

Findings: The largest aggregate of carbon dioxide gas in both southern and southeastern Iran is located in both cold and hot seasons. However, the dispersion and concentration of this gas in winter is higher than in the summer. The results showed that in most of Iran's provinces, local resources are responsible for increasing the concentration of carbon dioxide gas in the atmosphere in winter.

Discussion and Conclusion: High concentration of carbon dioxide gas in winter is due to the more consumption of fossil fuels for heating and lack of photosynthesis process in cold season. While in summer, according to the geographical location of the studied provinces, the role of regional sources of carbon dioxide emissions is more than local sources.

Key words: Carbon Dioxide, Spatial Distribution, GOSAT, Climate Change, Wind Speed

1- M.Sc., Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran *(Correspondence Author)

3 - Professor, Department of Remote Sensing, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

مقدمه

زمین از سال ۱۸۸۰ تا به حال بوده است (۹). مناطق خشک و نیمه خشک تقریباً ۳۰ درصد از سطح خشکی‌های سطح زمین را به خود اختصاص داده است (۱۰). اکثر اکوسیستم‌های ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است (۱۱). تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بیش‌ترین تأثیر را بر مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران دارد (۱۲). عوامل مختلفی در پراکنش و جابه‌جایی دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر نقش دارند. به‌عنوان مثال توپوگرافی (در اثر انتقالات گازهای گلخانه‌ای و برخورد با عوارض سطح زمین)، بارندگی (در اثر شستن گازها و انتقال آن به قسمت‌های زیر زمین)، جریانبات هوا و وجود باد از عوامل مهم در پخش، رقیق کردن و پراکندگی این گازها در اتمسفر محسوب می‌شوند (۱۳، ۱۴). به‌طوری‌که افزایش سرعت باد و رسیدن آن به سرعت ۲ متر بر ثانیه سبب جاروب کردن و رقیق کردن گاز دی‌اکسیدکربن سطح می‌شود (۱۵). مطالعات مختلفی در خصوص بررسی گازهای گلخانه‌ای در داخل و خارج از کشور صورت گرفته که از مطالعات خارجی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: مطالعات گو^۱ و همکاران (۲۰۱۳) که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی GOSAT به بررسی ارتباط شاخص NDVI و گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن و متان در شمال چین و مغولستان پرداختند. شیم^۲ و همکاران (۲۰۱۳) که در شرق آسیا (شرق چین، کره و ژاپن) با استفاده از داده‌های ماهانه ماهواره GOSAT به میزان انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن و ارتباط آن با متغیرهای محیطی را مورد بررسی قرار دادند. پراساد^۳ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT و ENVISAT تنوع زمانی و مکانی میانگین غلظت ستون‌های دی‌اکسیدکربن و متان را در سراسر هندوستان اندازه‌گیری کرده و گزارش دادند. گو و همکاران (۲۰۱۵) به مدل‌سازی نقشه‌های توزیع مکانی گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن کشور چین در طول فصل رشد سال ۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های دی-اکسیدکربن ماهواره GOSAT و محصولات مختلف

کربن یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده جهان هستی است. به‌طوری‌که این عنصر در اتمسفر زمین، خاک‌ها، اقیانوس‌ها و پوسته زمین موجود می‌باشد. اگر زمین به عنوان یک سیستم در نظر گرفته شود دارای منابع ورودی و خروجی کربن می‌باشد. منابع ورودی سبب اضافه کردن کربن به اتمسفر و منابع خروجی موجب خارج شدن کربن از اتمسفر می‌شوند (۱). منابع ورودی کربن شامل تنفس گیاهان، تنفس خاک، مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی بوده و از منابع خروجی کربن می‌توان به جذب کربن توسط اقیانوس‌ها و فتوسنتز گیاهان در اکوسیستم‌های خشکی اشاره کرد. تبادل کربن بین این منابع ورودی و خروجی سبب به‌وجود آمدن چرخه کربن می‌شود (۲). اگر منابع ورودی و خروجی کربن دارای تعادل باشند این مقدار پایدار دی‌اکسیدکربن (CO_2) سبب ثبات دمایی سطح زمین شده و از نوسانات بیش از حد آن جلوگیری می‌کند (۳). اما افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی سبب افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن و برهم‌زدن این تعادل طبیعی شده که این امر موجب افزایش دمای زمین و گرمایش جهانی شده است (۴). امروزه یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که جهان با آن روبه‌رو شده افزایش بی‌ثباتی آب و هوای جهان به علت انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (۵). تغییر اقلیم، به‌ویژه گرمایش جهانی به دلیل افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) در اتمسفر سبب جلب توجه به این موضوع شده است (۶). گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4)، اکسید نیتروز (N_2O)، هیدروفلئوروکربن (HFC) و سولفور هگزافلوراید (SF_6) هستند (۷). از بین گازهای مذکور، دی-اکسیدکربن به تنهایی با دارا بودن نقش ۵۰ تا ۶۰ درصدی در اثر گلخانه‌ای به عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای و اولین عامل در تغییر اقلیم شناخته می‌شود (۸). مطالعات نشان می‌دهد که میانگین دمای سطح زمین و اتمسفر طی قرن گذشته افزایش یافته به‌طوری‌که دهه‌ی ۲۰۰۰ میلادی گرم‌ترین دهه‌ی کره

همبستگی بین سرعت باد و میزان غلظت گاز دی‌اکسیدکربن استان های مختلف ایران پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی شمالی و طول‌های ۴۴ تا ۶۴ درجه‌ی شرقی در غرب آسیا قرار گرفته که از غرب با کشورهای عراق و ترکیه، از شرق با افغانستان و پاکستان، از شمال غربی با آذربایجان و ارمنستان و از شمال شرقی با ترکمنستان همسایه است (شکل ۱). همچنین از شمال به دریای خزر و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان منتهی می‌شود. ایران با دارا بودن مساحت تقریبی ۱۶۵ میلیون هکتار دارای اقلیم‌ها و کاربری‌های مختلفی می‌باشد. به طوری که دارای ۹۰ میلیون هکتار (۵۴/۶ درصد) مرتع، ۳۴ میلیون هکتار (۲۰/۶ درصد) بیابان، ۱۲/۴ میلیون هکتار (۷/۵ درصد) جنگل، ۱۸/۵ میلیون هکتار (۱۱/۲ درصد) اراضی کشاورزی، ۱۰/۱ میلیون هکتار (۶/۴ درصد) مناطق مسکونی، ساختارهای زیر بنایی و توده‌های آبی می‌باشد. ارتفاع متوسط ایران ۱۲۰۰ متر و دارای متوسط دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد بوده و میانگین بارندگی آن نیز ۲۵۰ میلی‌متر است. علاوه بر بادهای اصلی شمال غربی و جنوب شرقی که به ترتیب از اقیانوس اطلس و اقیانوس هند منشأ گرفته، بادهای ۱۲۰ روزه سیستان نیز جز مهم‌ترین بادهای اصلی ایران می‌باشند (۱۸). بر اساس آمار منتشر شده وزارت نیرو، میزان انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف انواع سوخت‌ها در قسمت‌های مختلف ایران شامل بخش-کشاورزی ۱۲/۶ میلیون تن، صنعت ۹۴ میلیون تن، حمل و نقل ۱۳۰/۷۹ میلیون تن، مصارف خانگی، تجاری و عمومی ۱۲۷/۶۲ میلیون تن، پالایشگاه‌ها ۱۶/۵۷ میلیون تن و نیروگاه‌ها ۱۷۴/۶۶ میلیون تن بوده است (۱۹).

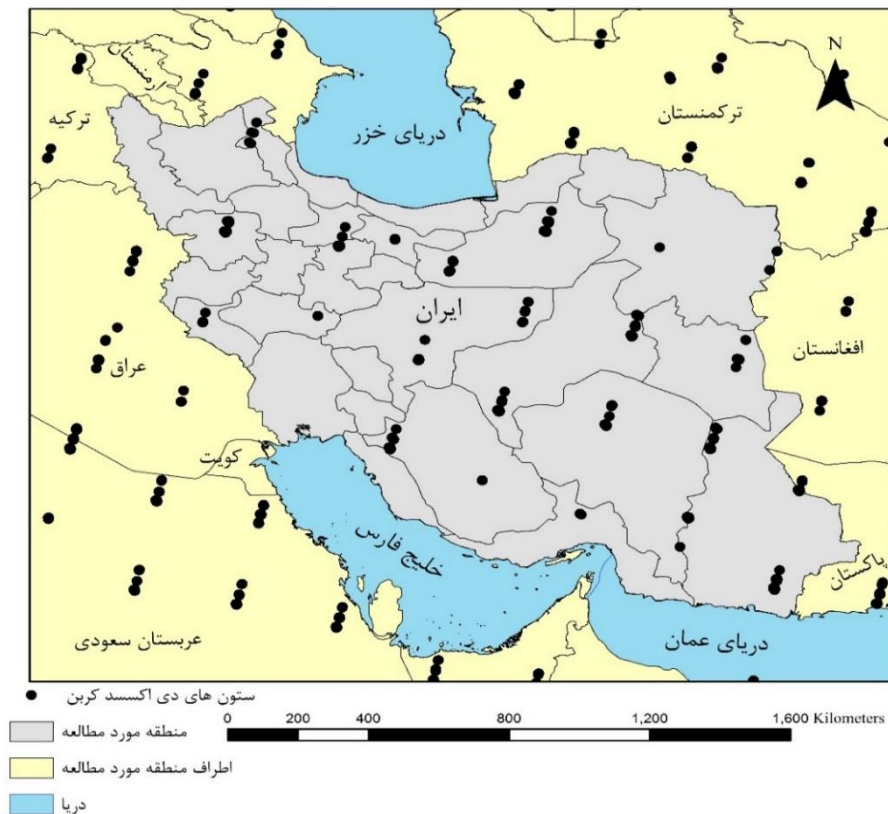
ماهواره MODIS پرداختند. در خصوص مطالعات داخلی می‌توان به مطالعه موسوی و همکاران (۲۰۱۷) که تغییرات ماهانه و فصلی گاز دی‌اکسیدکربن را با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT بررسی کرده و ارتباط این گاز را با پارامترهای محیطی در ایران مورد بررسی قرار داده‌اند اشاره کرد. همچنین، موسوی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT و داده‌های ماهواره مودیس به بررسی تغییرات ماهانه و فصلی گاز گلخانه‌ای متان در ایران پرداخته است. تمامی مطالعات مذکور میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن و متان مورد بررسی قرار داده و سپس برای بررسی علل این انتشار به ارتباط بین این گازها با مولفه‌های محیطی پرداختند. قابل ذکر است که ماهش^۱ و همکاران (۲۰۱۴) به منشأیابی محل انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از طریق ارتباط بین این گاز و سرعت باد منطقه پرداخته‌اند. سایر مطالعات از داده‌های پایش زمینی برای این امر استفاده کرده‌اند و استفاده هم‌زمان از داده‌های ماهواره‌ای برای پایش توزیع مکانی گازهای گلخانه‌ای و متغیر سرعت باد برای اولین بار انجام پذیرفته است.

با توجه به مشکلات و نگرانی‌های فراوان مربوط انتشار گازهای گلخانه‌ای که سبب تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در جوامع ملی و بین‌المللی می‌شود (۱۶) و همچنین با توجه به این که ایران در بین ۱۰ کشور پیش‌رو انتشار دهنده‌ی گاز دی‌اکسیدکربن قرار دارد (۱۷)، تهیه نقشه توزیع مکانی غلظت گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن و پی‌بردن به منابع احتمالی انتشار و جذب کربن به منظور برنامه‌ریزی‌های کلان‌اقلیمی و اقدامات محیط زیستی برای مدیران و برنامه‌ریزان از ضرورت‌های تحقیق حاضر می‌باشد. در این مطالعه برای اولین بار در ایران به منظور پی‌بردن به منابع محلی یا منطقه‌ای انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در مقیاس استانی، با استفاده از داده‌های ECMWF^۲ و GOSAT^۳ به محاسبه

3- Greenhouse Gas Observatory Sattelite

1- Mahesh

2- European Center for Medium-Range Weather Forecasts



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Position of study area

به منظور کمک به مدیران و سیاست‌مداران محیط‌زیستی در ارزیابی چرخه کربن از اهداف اولیه پرتاب این ماهواره به فضا می‌باشد (۲۴، ۲۵). ماهواره GOSAT اولین ماهواره دنیا بوده که به طور تخصصی به اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای دی-اکسیدکربن و متان در نواحی SWIR^۴ می‌پردازد (۲۶). تفکیک مکانی آن دایره‌ای به شعاع ۱۰/۵ کیلومتر و دارای قدرت تفکیک طیفی 0.2 cm^{-1} است (۲۷). ماهواره GOSAT با استفاده از دو سنجنده TANSO-CAI^۵ و TANSO-FTS^۶ به اندازه‌گیری‌های خود می‌پردازد. اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن به صورتی خواهد بود که مولکول‌های این گاز در اتمسفر اشعه‌هایی را با طول موج خاصی جذب کرده و مقادیر

داده‌های مورد استفاده

داده‌های سطح ۲ ماهواره GOSAT

در ۲۳ ژانویه ۲۰۰۹ ماهواره GOSAT در جزیره تانگاشیما ژاپن به فضا پرتاب شد (۲۰، ۲۱). ماهواره مشاهده‌کننده گازهای گلخانه‌ای در ارتفاع ۶۶۶ کیلومتری سطح زمین قرار داشته، در هر ۱۰۰ دقیقه یک بار گردش خود را کامل کرده و زمان محلی اندازه‌گیری آن ساعت ۱۳ می‌باشد (۲۲ و ۲۳). این ماهواره پروژه مشترک وزارت محیط‌زیست (MOE)^۱، آژانس اکتشافات فضایی ژاپن (JAXA)^۲ و انجمن ملی مطالعات محیط‌زیست (NIES)^۳ می‌باشد (۲۳). تخمین دقیق منابع انتشار و جذب گازهای گلخانه‌ای در مقیاس زیر قاره‌ای و قاره‌ای

5- Thermal and Near Infrared Sensor for Carbon Observations-Fourier Transform Spectrometer
6- Thermal and Near Infrared Sensor for Carbon Observations-Cloud and Aerosol Imager

1- Ministry of the Environment
2- Japanese Aerospace Exploration Agency.
3- National Institute for Environmental Studies.
4- Short Wave Infra-Red

آن‌ها وجود ندارد و مقادیر بین ۱- و ۱+ نشان‌دهنده‌ی درجه ارتباط بین متغیرها است (۳۲). در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و با کمک ابزار band collection برای تشخیص رابطه‌ی بین گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن و میانگین سرعت باد از ضریب همبستگی استفاده گردید. در این تحقیق با توجه به متفاوت بودن اندازه پیکسل‌های داده‌های مورد استفاده، یکسان‌سازی اندازه پیکسل‌ها با استفاده از روش باز نمونه‌گیری مجدد^۳ و به روش bilinear در این نرم‌افزار انجام گرفت.

نتایج و بحث

نقشه توزیع مکانی دی‌اکسیدکربن

پس از دریافت داده‌های سطح ۲ دی‌اکسیدکربن ماهواره GOSAT، با توجه به نقطه‌ای بودن این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GS+ به تهیه‌ی نقشه توزیع مکانی این گاز در دو فصل سرد (زمستان) و گرم (تابستان) سال ۲۰۱۳ پرداخته شد که نتایج آن در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده است. بیش‌ترین تجمع گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن در هر دو فصل سرد و گرم در منطقه جنوب و جنوب شرق ایران قرار دارد. البته گستره پراکندگی و غلظت بالاتر این گاز در فصل زمستان بیش‌تر از فصل تابستان است.

مدل مناسب به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی گاز دی‌اکسید کربن این دو فصل با توجه به بالا بودن R^2 و پایین بودن RSS^* برازش داده شد. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه را می‌توان برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار داد. زمانی که این نسبت کم‌تر از ۰/۲۵ باشد متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامی که بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد ساختار مکانی ضعیف می‌باشد (۳۳). متغیر دی‌اکسیدکربن برای هر دو فصل تابستان و زمستان با مدل گوسین برازش داده شده است. همچنین با توجه به این که نسبت اثر قطعه‌ای بر آستانه $(Co / Co+C)$ در هر دو فصل تابستان و زمستان در این مطالعه کم‌تر از ۰/۲۵ بدست آمد، لذا

این گاز به صورت ستون‌های از سطح زمین تا بالای جو اندازه‌گیری می‌شود (۲۱). دقت اندازه‌گیری گازهای دی‌اکسیدکربن توسط ماهواره GOSAT در بیش‌تر موارد کم‌تر از یک درصد می‌باشد (۲۲). داده‌های ماهواره GOSAT دارای سطوح مختلفی هستند که در این مطالعه با توجه به هدف تحقیق از داده‌های سطح ۲ ماهواره GOSAT استفاده گردید (۲۳). با توجه به نقطه‌ای بودن این داده‌ها از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی^۱ به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی این گاز در دو فصل گرم (تابستان) و سرد (زمستان) برای سال ۲۰۱۳ پرداخته شد.

داده‌های سرعت باد

به‌منظور تهیه‌ی نقشه بادهای سطحی، ابتدا داده‌های میانگین ماهانه‌ی باد ۱۰ متری جهت‌های غربی و جنوبی سطح زمین که به صورت سیستم‌های شبکه‌بندی شده می‌باشند از سایت ECMWF دانلود گردید. داده‌های این سایت دارای بزرگ‌نمایی مکانی ۱۵ کیلومتر و بزرگ‌نمای زمانی ۳ ساعت می‌باشد (۲۸) این داده‌ها شامل دو مولفه u و v می‌باشند که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی بادهای غربی و جنوبی می‌باشند. با استفاده از این دو مولفه و فرمول‌های زیر می‌توان به محاسبه سرعت و جهت باد پرداخت (۲۹ و ۳۰).

$$m/s = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

بعد از دانلود داده‌های باد سپس با میانگین‌گیری این داده‌ها و با استفاده از نرم‌افزار Matlab داده‌های ماهانه باد به داده‌های فصلی تبدیل شده و در ادامه با اعمال فرمول‌های فوق و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS^۲ نسخه ۱۰/۳، به تهیه نقشه میانگین سرعت باد برای فصل‌های گرم (تابستان) و سرد (زمستان) سال ۲۰۱۳ پرداخته شد.

ضریب همبستگی

ضریب همبستگی (R) که ضریب همبستگی پیرسون نامیده می‌شود، شاخصی است که درجه‌ی ارتباط بین دو مجموعه داده را فراهم می‌کند (۳۱). در مواردی که ضرایب همبستگی صفر یا نزدیک به صفر باشد به این معنی بوده که هیچ همبستگی بین

3- Resampling

4- Residual Sums of Squares

1- Ordinary Kriging

2- Geographic Information System

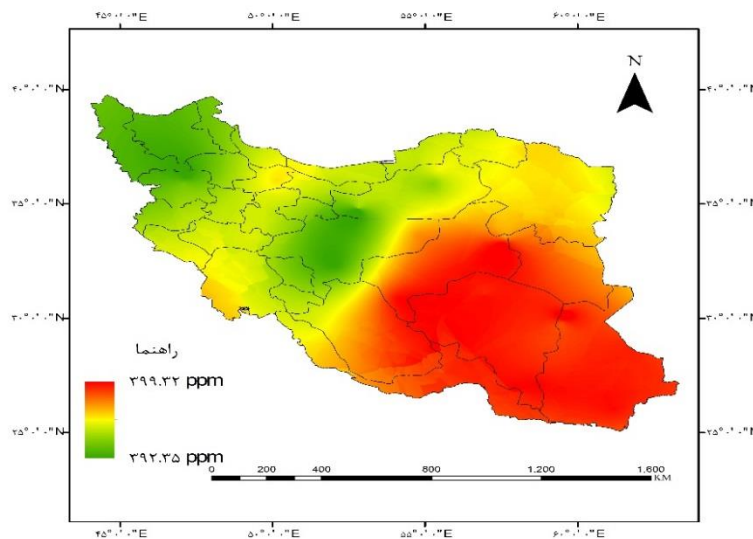
خراسان جنوبی، یزد، کرمان، هرمزگان و شیراز و کم‌ترین غلظت این گاز در نواحی مرکزی و شمال غرب ایران ملاحظه گردید. در فصل تابستان، بیش‌ترین غلظت گاز دی‌اکسیدکربن در جنوب شرق ایران و در استان‌های کرمان، هرمزگان، فارس، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان و کم‌ترین غلظت این گاز در قسمت‌های شمالی و غربی ایران ملاحظه گردید.

می‌توان بیان داشت که متغیر مورد بررسی در این تحقیق دارای خود همبستگی مکانی^۱ قوی می‌باشد (۳۳). پاره‌ای از اطلاعات زمین‌آمارای این گاز در دو فصل تابستان و زمستان از جمله بهترین مدل برازش داده شده و نیم‌تغییرنمای دی‌اکسیدکربن و پارامترهای مربوط به آن در جدول ۱ نشان داده شده است. در فصل زمستان بیش‌ترین غلظت گاز دی‌اکسیدکربن در جنوب و جنوب شرق ایران و در استان‌های سیستان و بلوچستان،

جدول ۱- بهترین مدل برازش داده شده نیم‌تغییرنمای دی‌اکسیدکربن

Table 1-Best-fitted semivariogram model of XCO₂

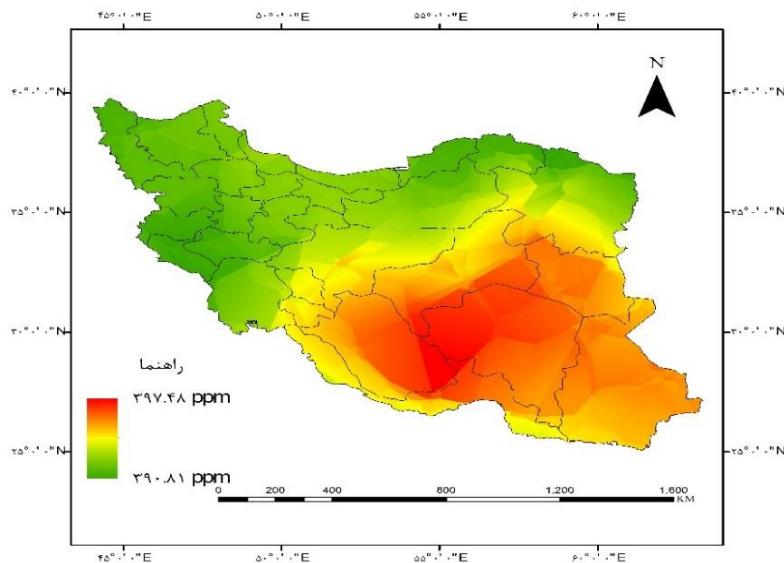
متغیر	فصل	مدل	اثر قطعه‌ای (Co)	آستانه (Co+C)	دامنه تاثیر	نسبت (Co /Co+C)	کلاس وابستگی مکانی	RSS	R ²
CO ₂	تابستان	گوسین	۱/۰۶	۵/۱۲	۱۲/۳۵	۰/۲۱	قوی	۰/۰۹	۰/۹۹
	زمستان	گوسین	۰/۴۸	۳/۳۲	۹/۳۱	۰/۱۵	قوی	۷/۶×۱۰ ^{-۶}	۰/۹۹



شکل ۲. نقشه توزیع مکانی دی‌اکسیدکربن زمستان سال ۲۰۱۳

Figure 2- Spatial distribution of carbon dioxide in winter 2013

1- Spatial Autocorrelation

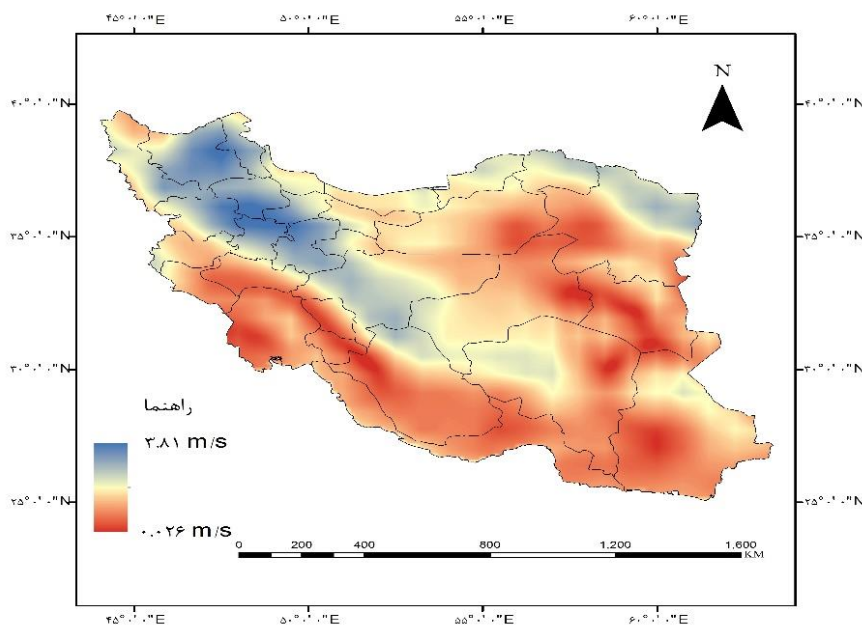


شکل ۳- نقشه توزیع مکانی دی‌اکسیدکربن تابستان سال ۲۰۱۳

Figure 3- Spatial distribution of carbon dioxide in summer 2013

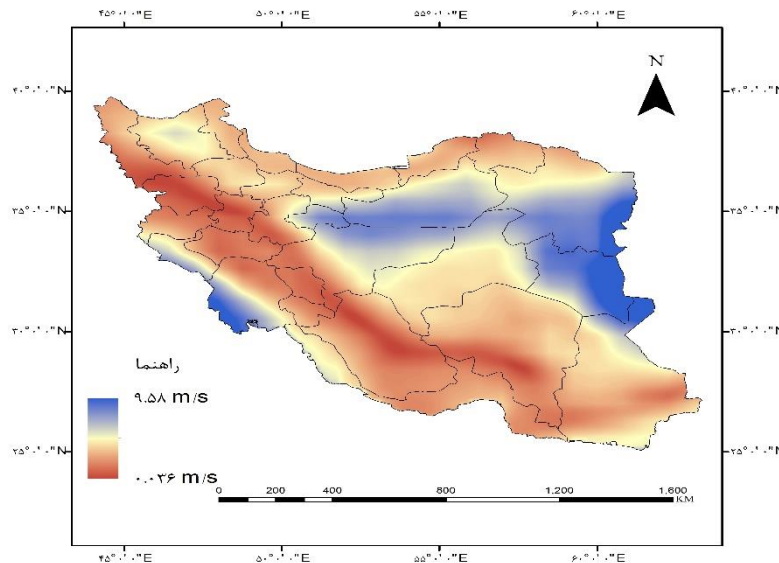
میانگین سرعت باد فصل‌های سرد (زمستان) و گرم (تابستان) سال ۲۰۱۳ پرداخته شد. که این نقشه‌ها در اشکال ۴ و ۵ نشان داده شده است.

نقشه توزیع مکانی سرعت باد بعد از دانلود داده‌های میانگین سرعت ماهانه باد و تبدیل این داده‌های ماهانه به داده‌های فصلی به تهیه نقشه توزیع مکانی



شکل ۴- نقشه سرعت باد فصل زمستان سال ۲۰۱۳

Figure 4- Map of Wind speed in winter 2013.



شکل ۵- نقشه سرعت باد فصل تابستان سال ۲۰۱۳

Figure 5- Map of wind speed in summer 2013

موجود در جدول ۲ برای سه استان شمالی کشور (گیلان، مازندران و گلستان) در فصل زمستان منابع محلی موجود در این سه استان عامل اصلی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌باشد. رابطه منفی بین سرعت باد و غلظت گاز دی‌اکسیدکربن در استان‌های شمالی کشور بازگو کننده این امر است. در فصل زمستان تمامی درختان مناطق جنگلی خزان نموده و جذب دی‌اکسیدکربن توسط پوشش گیاهی کاهش می‌یابد و بخش عمده‌ای از تنفس خاک منجر به انتشار دی‌اکسیدکربن بالاتر نسبت به فصل تابستان می‌شود. به بیان دیگر، علاوه بر وجود منابع انسانی انتشار گازهای گلخانه‌ای، توقف فرایند فتوسنتز و وجود تنفس خاک منجر به انتشار بیش‌تر این گاز می‌گردد. در صورتی که در تابستان در استان‌های گلستان و گیلان منابع منطقه‌ای و در استان مازندران منابع محلی از عوامل اصلی انتشار این گاز به شمار می‌رود. در مورد استان‌های جنوبی مانند خوزستان، بوشهر، هرمزگان و فارس در هر دو فصل زمستان و تابستان، وجود رابطه منفی بین گاز دی‌اکسیدکربن و میانگین سرعت باد می‌تواند نشان‌دهنده‌ی این واقعیت باشد که منابع محلی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نسبت به منابع منطقه‌ای غالب می‌باشند. در تمام استان‌های غربی ایران مانند کرمانشاه، لرستان، کردستان،

همان طوری که در اشکال بالا مشاهده می‌شود در فصل زمستان بیش‌ترین میانگین سرعت باد در نواحی رشته کوه زاگرس و در استان‌های آذربایجان شرقی، اردبیل، کردستان، زنجان، قزوین، همدان، اراک و غرب اصفهان و کم‌ترین میانگین سرعت باد در نواحی جنوبی و شرقی ایران ملاحظه گردید. در فصل تابستان بیش‌ترین میانگین سرعت باد در نواحی شرقی، مرکزی ایران و در استان‌های خراسان مرکزی، خراسان جنوبی، سمنان، جنوب تهران، قم، شمال اصفهان، غرب ایلام و جنوب خوزستان و کم‌ترین سرعت باد نیز در نواحی رشته کوه زاگرس و شمال ایران ملاحظه گردید.

ارتباط بین گاز دی‌اکسیدکربن و سرعت باد

مطابق با مطالعه انجام شده توسط ماهش و همکاران (۲۰۱۴)، همبستگی منفی بین دی‌اکسیدکربن و سرعت باد نشان دهنده اثر منابع محلی بر انتشار و پراکندگی گازهای گلخانه‌ای است، در صورتی که همبستگی بالاتر از ۰/۵ تاثیر انتقالات منطقه‌ای جو را در غلظت گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد. با توجه به متفاوت بودن سرعت باد در فصول مختلف سال در استان‌های مختلف ایران، این امکان وجود دارد که مقدار غلظت گاز دی‌اکسیدکربن تحت تاثیر انتقالات جوی قرار داشته باشد. بر مبنای اطلاعات

این استان با استان‌های صنعتی باشد. در سایر استان‌های مرکزی، در فصل زمستان منابع محلی نقش عمده‌تری را نسبت به منابع منطقه‌ای نشان می‌دهند. اما در فصل تابستان در این استان‌ها نقش منابع محلی در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کم‌تر شده است.

نتایج نشان می‌دهد که به طور عمده در اکثر استان‌های کشور در فصل زمستان منابع محلی از منابع اصلی انتشار دی‌اکسیدکربن در منطقه می‌باشد که مصرف بیش‌تر سوخت‌های فسیلی در فصل زمستان در بخش‌های خانگی، اداری در کنار فعالیت‌های صنعتی منجر به این امر گردیده است.

همدان، اردبیل، آذربایجان‌های غربی و شرقی و ایلام در فصل زمستان منابع انتشار محلی در افزایش غلظت این گاز نقش عمده را ایفا می‌کند و در فصل تابستان به استثنای استان‌های کردستان، همدان و آذربایجان شرقی که علاوه بر منابع محلی، منابع منطقه‌ای نیز در انتشار این گاز دخیل می‌باشند، منابع انتشار محلی عامل اصلی انتشار این گاز در سایر استان‌های غربی کشور در این فصل می‌باشد. این امر می‌تواند به سبب تراکم بیش‌تر مناطق شهری در این قسمت از منطقه مورد مطالعه باشد. در استان‌های مرکزی ایران به استثنای استان قم که در دو فصل تابستان و زمستان منابع منطقه‌ای مهم‌ترین منبع انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است و این امر می‌تواند به سبب هم‌جواری

جدول ۲- نتایج همبستگی دی‌اکسیدکربن و متغیرسرعت باد در فصول تابستان و زمستان سال ۲۰۱۳

Table 2- The results of correlation between XCO₂ and wind speed in summer and winter 2013

ردیف	استان	زمستان	تابستان	ردیف	استان	زمستان	تابستان
۱	ایلام	-۰/۷۴	-۰/۱۸	۱۶	یزد	-۰/۱۸	-۰/۵۹
۲	بوشهر	-۰/۰۲	-۰/۷۶	۱۷	آذربایجان- شرقی	-۰/۰۱	۰/۲۷
۳	چهارمحال و بختیاری	-۰/۹۱	-۰/۶۸	۱۸	آذربایجان- غربی	-۰/۸۳	-۰/۳۹
۴	خراسان جنوبی	-۰/۵۲	-۰/۷۷	۱۹	اردبیل	-۰/۳۵	-۰/۲۶
۵	خراسان شمالی	-۰/۰۶	۰/۶۹	۲۰	اصفهان	-۰/۶۴	-۰/۲۴
۶	خراسان رضوی	-۰/۲۸	۰/۵۲	۲۱	تهران	۰/۱۷	۰/۵۱
۷	زنجان	-۰/۰۱	۰/۳۴	۲۲	خوزستان	-۰/۴۴	-۰/۰۵
۸	سمنان	-۰/۵۴	۰/۶۱	۲۳	فارس	-۰/۲۱	-۰/۴۵
۹	سیستان و بلوچستان	-۰/۳۳	-۰/۱۱	۲۴	قم	۰/۸۳	۰/۸۵
۱۰	قزوین	-۰/۸۲	۰/۰۷	۲۵	کردستان	-۰/۰۴	۰/۱۲
۱۱	کرمان	۰/۵۸	۰/۲	۲۶	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۵۱	-۰/۱۸
۱۲	کرمانشاه	-۰/۰۶	-۰/۲۹	۲۷	گیلان	-۰/۴۳	۰/۵۶
۱۳	گلستان	۰/۱۸	۰/۵۲	۲۸	لرستان	-۰/۵۴	-۰/۲۸
۱۴	مازندران	-۰/۳۶	-۰/۵۹	۲۹	مرکزی	۰/۲۱	۰/۷۶
۱۵	همدان	-۰/۳۸	۰/۴۱	۳۰	هرمزگان	-۰/۰۱	-۰/۰۶

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق ارتباط بین گاز دی‌اکسیدکربن و میانگین سرعت باد استان‌های مختلف ایران در دو فصل سرد (زمستان) و گرم (تابستان) سال ۲۰۱۳ به منظور پی‌بردن به منابع احتمالی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از جنبه محلی و منطقه‌ای بودن مورد بررسی قرار گرفت. گاز دی‌اکسیدکربن دارای نوسانات فصلی و تغییرات ناشی از مدارهای جغرافیایی می‌باشد. عوامل انسانی و طبیعی مختلفی از جمله مصرف سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری و پوشش اراضی، آتشفشان‌ها، فتوسنتز و تنفس از جمله ورودی‌ها و خروجی‌های گاز دی‌اکسیدکربن می‌باشند. عوامل اقلیمی مانند بارش و جریان‌های بادی نقش مهمی در پراکندگی این گاز گلخانه‌ای در اتمسفر دارند. بنابراین پی‌بردن به منابع احتمالی انتشار این گاز از جنبه محلی یا منطقه‌ای می‌تواند در برنامه ریزی‌های اقلیمی در مقیاس ملی تاثیرگذار باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تغییرات عمده‌ای در توزیع مکانی گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن با استفاده از داده‌های ماهواره GOSAT در ایران مشاهده نمی‌شود. بخش غربی و شمالی ایران به علت دارا بودن اکوسیستم‌های طبیعی که خروجی کربن می‌باشد دارای غلظت کم‌تری از گاز دی‌اکسیدکربن می‌باشد. در صورتی که در مناطق جنوب شرقی که خروجی برای جذب گاز دی‌اکسیدکربن وجود ندارد، غلظت بالاتر این گاز مشاهده می‌شود. در اکثر استان‌های ایران در فصل زمستان بیش‌تر منابع محلی عامل افزایش انتشار غلظت گاز دی‌اکسیدکربن می‌باشد. این امر می‌تواند نشان‌دهنده مصرف بیش‌تر سوخت‌های فسیلی برای گرمایش نسبت به فصل تابستان و عدم انجام فرایند فتوسنتز توسط گیاهان در فصل سرد باشد. در صورتی که در فصل تابستان مطابق با موقعیت جغرافیایی استان‌های مورد مطالعه نقش منابع منطقه‌ای در انتشار دی‌اکسیدکربن بیش‌تر از منابع محلی می‌باشد. بنابراین با توسعه استفاده از فناوری‌های سازگار با محیط زیست، مصرف کم‌تر سوخت‌های فسیلی در استان‌هایی که دارای منبع انتشار منطقه‌ای هستند می‌توان غلظت انتشار این گاز را به طور چشم‌گیری کاهش داد.

منابع

1. Mackenzie, F. T., (1981) "Global carbon cycle: Some minor sinks for CO₂, Flux of Organic Carbon by Rivers to the Oceans", GE Likens, FT MacKenzie, JE Richey, JR Sedell, KK Turekian, 360-384.
2. World Meteorological Organization (2015) "WMO WDCGG Data Summary No. 39; Japan Meteorological Agency/WMO: Tokyo, Japan, 2015; pp. 17-22.
3. Hannah, L., (2014) "Carbon Sinks and Sources in: L, Hannah", Climate change biology Second Edition, Elsevier: Academic Press, pp. 403-422.
4. IPCC., (2007) "Summary for Policymakers. In Climate Change 2007: The Physical Science Basis", Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyte, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Ed.). pp.18 (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press).
5. Bajracharya, S. (2008) "Community carbon forestry: remote sensing of forest carbon and forest degradation in Nepal", Netherlands International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 14-26.
6. Fu, L., Zhao, Y., Xu, Zh., and Wu, B., (2015) "Spatial and temporal dynamics of forest aboveground carbon stocks in response to climate and environmental changes", Soils Sediments. 15(2): 249-259.
7. Nayak, R. K., Deepthi, E. N., Dadhwal, V. K., Rao, K. H., & Dutt, C. B. S.

- carbon dioxide from geologic carbon sequestration sites”, *Vadose Zone Journal*, 3(3), 848-857.
15. Chow, F. K., Granvold, P. W., and Oldenburg, C. M., (2009) “Modeling the effects of topography and wind on atmospheric dispersion of CO₂ surface leakage at geologic carbon sequestration sites”, *Energy Procedia*, 1(1): 1925-1932.
 16. Deng, S., Shi, Y., Jin, Y., and Wang, L., (2011) “A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study”, *Energy Procedia*, 5:1535-1545.
 17. World research institute, (2015). <http://www.wri.org>. last visited at 15/8/2015.
 18. ENI. (2016). *Encyclopaedia Iranica*. <http://www.iranicaonline.org>. Accessed December 6, 2017.
 19. Emissions database for global atmospheric research. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>. Accessed February 8, 2017.
 20. Yokota, T., Yoshida, Y., Eguchi, N., Ota, Y., Tanaka, T., Watanabe, H., and Maksyutov, S., (2009) “Global concentrations of CO₂ and CH₄ retrieved from GOSAT: First preliminary results”, *Sola*, 5: 160-163.
 21. Parker, R., Boesch, H., Cogan, A., Fraser, A., Feng, L., Palmer, P. I., ... and Wennberg, P. O. (2011) “Methane observations from the Greenhouse Gases Observing SATellite: Comparison to ground-based TCCON data and model calculations”, *Geophysical Research Letters*, 38(15).
 22. Yoshida, Y., Ota, Y., Eguchi, N., Kikuchi, N., Nobuta, K., Tran, H., ... (2014). Evaluation of NOAA carbon tracker global carbon dioxide products. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(8), 287-290.
 8. Yue, T. X., Zhao, M. W., and Zhang, X. Y. (2015) “A high-accuracy method for filling voids on remotely sensed XCO₂ surfaces and its verification”, *Journal of Cleaner Production*, 103, 819-827.
 9. Brewer, W., Hoffman, G., Silver, E., DiLeonardo, C., Henderson, J. R., and Vigil, S., (2012) “Evaluating Use of Satellite Observations for Detecting Large CO₂ Leaks and Carbon Sequestration Monitoring United States”, *Lawrence Livermore National Laboratory* 1(1):1-35.
 10. Bell, T. W., Menzer, O., Troyo-Diéquez, E., and Oechel, W. C. (2012) “Carbon dioxide exchange over multiple temporal scales in an arid shrub ecosystem near La Paz, Baja California Sur, Mexico”, *Global Change Biology*, 18(8), 2570-2582.
 11. Mousavi, S. M., & Falahatkar, S. (2019). Spatiotemporal distribution patterns of atmospheric methane using GOSAT data in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-17.
 12. Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G., and Guo, R. (2015) “Accelerated dryland expansion under climate change”, *Nature Climate Change*.
 13. Britter, R. E. (1989). Atmospheric dispersion of dense gases. *Annual review of fluid mechanics*, 21(1), 317-344.
 14. Oldenburg, C. M., and Unger, A. J., (2004) “Coupled vadose zone and atmospheric surface-layer transport of

- with high spatiotemporal resolution”, *PLoS ONE* 9(8): 1-9.
28. Boon, A., Broquet, G., Clifford, D. J., Chevallier, F., Butterfield, D. M., Pison, I., ... and Ciais, P. (2016) “Analysis of the potential of near-ground measurements of CO₂ and CH₄ in London, UK, for the monitoring of city-scale emissions using an atmospheric transport model”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(11), 6735-6756.
 29. Raible, C. C., Yoshimori, M., Stocker, T. F., and Casty, C., (2007) “Extreme mid latitude cyclones and their implications for precipitation and wind speed extremes in simulations of the Maunder Minimum versus present day conditions”, *Climate Dynamics*, 28(4), 409-423.
 30. Ruti, P. M., Marullo, S., D'Ortenzio, F., and Tremant, M., (2008) “Comparison of analyzed and measured wind speeds in the perspective of oceanic simulations over the Mediterranean basin: Analyses, QuikSCAT and buoy data”, *Journal of Marine Systems*, 70(1), 33-48.
 31. Cantrell, C. A., (2008) “Technical Note: Review of methods for linear least-squares fitting of data and application to atmospheric chemistry problems”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(17): 5477-5487.
 32. Francis, D. P., Coats, A. J., and Gibson, D. G., (1999) “How high can a correlation coefficient be Effects of limited reproducibility of common cardiological measures”, *International Journal of Cardiology*, 69(2): 185-189.
 33. Sun, B., Zhou, S., & Zhao, Q., (2003) “Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on and Yokota, T., (2011) “Retrieval algorithm for CO₂ and CH₄ column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite”, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4): 717-734.
 23. Miao, R., Lu, N., Yao, L., Zhu, Y., Wang, J., and Sun, J., (2013) “Multi-year comparison of carbon dioxide from satellite data with ground-based FTS measurements (2003–2011). *Remote Sensing*, 5(7): 3431-3456.
 24. Morino, I., Uchino, O., Inoue, M., Yoshida, Y., Yokota, T., Wennberg, P., ... and Rettinger, M., (2010) “Preliminary validation of column-averaged volume mixing ratios of carbon dioxide and methane retrieved from GOSAT short-wavelength infrared spectra”, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(2):1061-1076.
 25. Kuze, A., Suto, H., Nakajima, M., and Hamazaki, T., (2009) “Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on the Greenhouse Gases Observing Satellite for greenhouse gases monitoring”, *Applied Optics*, 48(35): 6716-6733.
 26. Guo, M., Wang, X. F., Li, J., Yi, K. P., Zhong, G. S., Wang, H. M., and Tani, H., (2013) “Spatial distribution of greenhouse gas concentrations in arid and semi-arid regions: A case study in East Asia”, *Journal of Arid Environments*, 91: 119-128.
 27. Wang, T., Shi, J., Jing, Y., Zhao, T., Ji, D., and Xiong, C., (2014) “Combining XCO₂ measurements derived from SCIAMACHY and GOSAT for potentially generating global CO₂ maps

37. Prasad, P., Rastogi, S., and Singh, R. P., (2014). Study of satellite retrieved CO₂ and CH₄ concentration over India. *Advances in Space Research*, 54(9): 1933-1940.
38. Guo, M., Xu, J., Wang, X., He, H., Li, J., & Wu, L., 2015. Estimating CO₂ concentration during the growing season from MODIS and GOSAT in East Asia. *International Journal of Remote Sensing*, 36(17): 4363-4383.
39. Mousavi, S.M, Falahatkar, S., & Farajzadeh, M. (2017). Assessment of seasonal variations of carbon dioxide concentration in Iran using GOSAT data. *Natural Resources Forum*, doi: 10.1111/1477-8947.12121.
40. Mousavi, S. M., Falahatkar, S., & Farajzadeh, M. (2017). Monitoring of Monthly and Seasonal Methane Amplitude in Iran using GOSAT Data. *Physical Geography* 49 (2), 327-340 [In persian].
- geostatistical analysis in the hill region of subtropical China”, *Geoderma*, 115(1): 85-99.
34. Mahesh, P., Sharma, N., Dadhwal, V. K., Rao, P. V. N., Apparao, B. V., Ghosh, A. K., ... and Ali, M. M. (2014) “Impact of Land-Sea Breeze and Rainfall on CO₂ Variations at a Coastal Station”, *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 5(6), 1.
35. Guo, M., Wang, X. F., Li, J., Yi, K. P., Zhong, G. S., Wang, H. M., and Tani, H., (2013). Spatial distribution of greenhouse gas concentrations in arid and semi-arid regions: A case study in East Asia. *Journal of Arid Environments*, 91: 119-128.
36. Shim, C., Lee, J., and Wang, Y., (2013). Effect of continental sources and sinks on the seasonal and latitudinal gradient of atmospheric carbon dioxide over East Asia. *Atmospheric Environment*, 79(85): 853-860.